

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN NĂNG SUẤT BỐC TÁCH VẬT LIỆU, KHI GIA CÔNG BẰNG TIA LỬA ĐIỆN TRÊN MÁY XUNG ĐIỆN BẰNG ĐIỆN CỰC ĐỒNG

INVESTIGATION IN INFLUENCE OF TECHNOLOGY PARAMETERS ON MATERIAL REMOVAL RATE, PROCESSING BY ELECTRIC DISCHARGE MACHINING USING COPPER ELECTRODE

Nguyễn Văn Đức*, Vũ Đình Toàn

TÓM TẮT

Gia công tia lửa điện (Electrical Discharge Machining - EDM) là một trong những công nghệ quan trọng và phổ biến trên thế giới hiện nay [1, 5], ứng dụng gia công các vật liệu cứng đã qua nhiệt luyện trong ngành sản xuất khuôn mẫu. Tối ưu hóa các thông số công nghệ nhận được sự quan tâm của các chuyên gia trong lĩnh vực EDM. Bài báo này trình bày việc tối ưu hóa năng suất bóc tách vật liệu MRR (Material removal rate) bằng phương pháp Taguchi với 4 thông số công nghệ đầu vào là: cường độ dòng điện (I); điện áp khe hở phóng điện (U); thời gian phóng điện (T_{on}); thời gian ngừng phóng điện (T_{off}), một thông số đầu ra là năng suất bóc tách vật liệu (MRR). Ma trận trực giao L25 trong phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế thí nghiệm. Kết quả đã chỉ ra rằng, bộ thông số tối ưu của bài toán đơn mục tiêu gia công thép SKD11 trong EDM là $I = 5A$; $T_{on} = 18\mu s$, $T_{off} = 37\mu s$; $U = 60V$ đã làm giảm đáng kể thời gian và chi phí làm thí nghiệm.

Từ khóa: Máy xung điện, thép SKD11, năng suất bóc tách vật liệu.

ABSTRACT

Electrical Discharge Machining (EDM) is one of the most important and popular technologies in the world today [1, 5], applying in machining the hard materials with heat treatment in the mold manufacturing industry. Optimization of technology parameters receives the attention of experts in the EDM field. This paper presents the material removal rate (MRR) optimization by Taguchi method with 4 input technology parameters: amperage (I); discharge gap voltage (U); discharge on time (T_{on}); discharge off time (T_{off}), one output parameter is material removal rate (MRR). Orthogonal matrix L25 in Taguchi method was used to design the experiment. The results showed that, the optimal parameter of SKD11 steel processing single-goal problem in EDM is $I = 5A$; $T_{on} = 18\mu s$, $T_{off} = 37\mu s$; $U = 60V$ significantly reduces the time and cost of doing the experiment.

Keywords: EDM, SKD11 tool steel, material removal rate.

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: nguyenvanduc197@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/01/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/3/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2021

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công tia lửa điện EDM là phương pháp gia công vật liệu dẫn điện bằng cách sử dụng năng lượng nhiệt của tia lửa điện để làm nóng chảy và bốc hơi vật liệu gia công có độ cứng cao. Phương pháp này có năng suất không cao, để lại trên bề mặt chi tiết gia công lớp trắng có độ cứng khác với lớp kim loại nền.

Bài báo này trình bày nghiên cứu sử dụng chỉ tiêu năng suất bóc tách vật liệu để tối ưu hóa 4 thông số công nghệ đầu vào gồm I, U, T_{on} , T_{off} . Phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế thí nghiệm và tối ưu hóa trong gia công EDM, gia công thép SKD11 đã nhiệt luyện, sử dụng điện cực đồng.

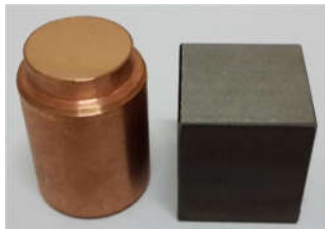
2. THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM



Hình 1. Máy xung điện CM 323C

Thí nghiệm được thực hiện trên máy xung điện CM 323C (Đài Loan), tại Trung tâm Hồng Hải, Đại học Công nghiệp Hà Nội (hình 1). Thép làm khuôn SKD11 đã nhiệt luyện đạt độ cứng 58 - 62HRC có kích thước 20x20x20mm (hình 2). Điện cực đồng đường kính $\varnothing 16$, chiều dài 35mm (hình 2). Dung dịch điện môi dầu D323. Đo khối lượng của

phôi trước và sau khi gia công bằng cân điện tử AJ 203, Nhật Bản sản xuất (hình 3), khối lượng lớn nhất mà cân có thể cân được là 200g, độ chính xác 0,001g. Thực hiện 3 lần đo trên mỗi mẫu phôi và kết quả là giá trị trung bình của 3 lần đo. Xác định lượng bóc tách vật liệu bằng khối lượng trước khi gia công trừ khối lượng sau khi gia công.



Hình 2. Phôi và điện cực dùng trong thí nghiệm



Hình 3. Cân điện tử AJ 203

3. XÂY DỰNG QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

Việc lựa chọn ma trận thiết kế thí nghiệm trong Taguchi phụ thuộc vào số lượng thông số công nghệ và các mức của nó được khảo sát [2, 3]. Trong nghiên cứu này, bốn thông số công nghệ (U , I , T_{on} và T_{off}) ảnh hưởng lớn nhất đến năng suất gia công được lựa chọn với 5 mức của mỗi thông số (bảng 1). Bậc tự do của ma trận thí nghiệm là 16. Như vậy, bảng thiết kế thí nghiệm của Taguchi phù hợp với nghiên cứu này là L25. Quá trình thực nghiệm được tiến hành với ma trận thực nghiệm như bảng 2; các thông số trong ma trận như bảng 3.

Các thông số thực nghiệm: 4 thông số đầu vào; 5 mức.

Bảng 1. Các thông số đầu vào và mức của các thông số

Mức	A	B	C	D
	I (A)	U (V)	T_{on} (μ s)	T_{off} (μ s)
1	1	30	18	9
2	2	40	25	12
3	3	50	37	18
4	4	60	50	25
5	5	70	75	37

Bảng 2. Ma trận thí nghiệm

TT	A	B	C	D
	I (A)	U (V)	T_{on} (μ s)	T_{off} (μ s)
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	1	5	5	5
6	2	1	2	3
7	2	2	3	4
8	2	3	4	5
9	2	4	5	1
10	2	5	1	2
11	3	1	3	5
12	3	2	4	1
13	3	3	5	2
14	3	4	1	3
15	3	5	2	4
16	4	1	4	2
17	4	2	5	3
18	4	3	1	4
19	4	4	2	5
20	4	5	3	1
21	5	1	5	4
22	5	2	1	5
23	5	3	2	1
24	5	4	3	2
25	5	5	4	3

Bảng 3. Thông số trong ma trận thí nghiệm

TT	A	B	C	D
	I (A)	U (V)	T_{on} (μ s)	T_{off} (μ s)
1	1	30	18	9
2	1	40	25	12
3	1	50	37	18
4	1	60	50	25
5	1	70	75	37
6	2	30	25	18
7	2	40	37	25
8	2	50	50	37
9	2	60	75	9
10	2	70	18	12
11	3	30	37	37
12	3	40	50	9
13	3	50	75	12

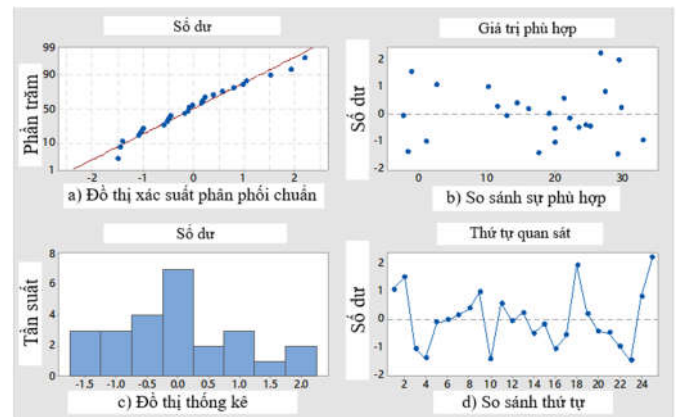
14	3	60	18	18
15	3	70	25	25
16	4	30	50	12
17	4	40	75	18
18	4	50	18	25
19	4	60	25	37
20	4	70	37	9
21	5	30	75	25
22	5	40	18	37
23	5	50	25	9
24	5	60	37	12
25	5	70	50	18

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm

Exp	I (A)	U (V)	T _{on} (μ s)	T _{off} (μ s)	MRR(mg/ph)
1	1	30	18	9	1,450
2	1	40	25	12	0,983
3	1	50	37	18	1,022
4	1	60	50	25	0,722
5	1	70	75	37	0,744
6	2	30	25	18	9,083
7	2	40	37	25	6,416
8	2	50	50	37	5,366
9	2	60	75	9	3,500
10	2	70	18	12	6,750
11	3	30	37	37	12,225
12	3	40	50	9	4,375
13	3	50	75	12	3,800
14	3	60	18	18	14,475
15	3	70	25	25	12,733
16	4	30	50	12	9,133
17	4	40	75	18	9,500
18	4	50	18	25	34,739
19	4	60	25	37	31,250
20	4	70	37	9	16,300
21	5	30	75	25	17,600
22	5	40	18	37	41,700
23	5	50	25	9	25,900
24	5	60	37	12	25,300
25	5	70	50	18	26,300

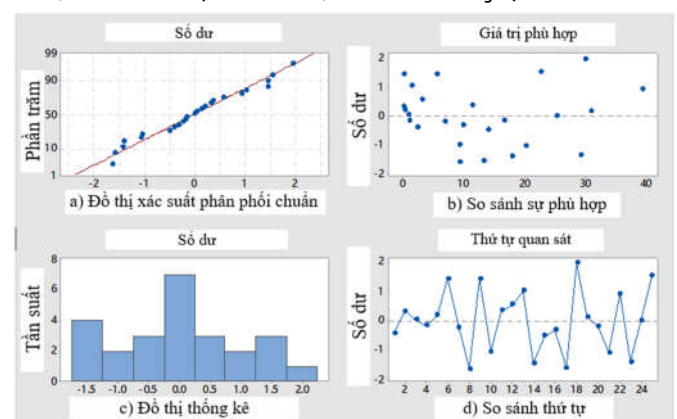
4. KIỂM TRA ĐỘ TIN CẬY CỦA SỐ LIỆU THÍ NGHIỆM

Dữ liệu thí nghiệm phải được kiểm tra độ sai lệch và mức độ phù hợp của chúng. Kết quả kiểm tra số liệu được thể hiện ở hình 4 và 5 (sử dụng phần mềm Minitab18[4] để phân tích).



Hình 4. Đồ thị thống kê số dư cho tỷ số S/N của MRR

- a) So sánh với phân bố chuẩn
- b) Sự phân bố số dư
- c) Tần suất xuất hiện
- d) Số dư của các thí nghiệm



Hình 5. Đồ thị thống kê số dư trung bình của MRR

Nhận xét kết quả từ các hình 4 và 5:

- Các hình a so sánh với phân bố chuẩn cho thấy các điểm số liệu phân bố theo một đường thẳng, có giá trị ngoại lai nhưng không đáng kể. Điều này chứng tỏ số liệu phân bố bình thường và không có sự sai lệch nào trong số liệu.

- Các hình b là sự phân bố số dư ngẫu nhiên các số liệu trên hai phía của đường 0, các điểm phân bố ngẫu nhiên, không theo quy luật chứng tỏ dữ liệu y đã nhận không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố điều khiển có quy luật nào khác ngoài x.

- Các hình c thể hiện tần suất xuất hiện các số dư. Phần nhô cao của các cột phân bố trên hình chỉ ra độ sai lệch của các kết quả. Khoảng cách giữa các cột phân bố chỉ ra những giá trị ngoại lai của các kết quả xuất hiện trong các giá trị thực nghiệm và sơ đồ dữ liệu không thể hiện bất kì một xu hướng phân bố chuẩn nào. Vì vậy, các giá trị của số liệu được khảo sát theo mô hình thiết kế thí nghiệm của Taguchi là phù hợp.

- Các hình d là sơ đồ số dư của các thí nghiệm, khảo sát theo thứ tự thí nghiệm để tìm ra lỗi không ngẫu nhiên. Các điểm phân bố ngẫu nhiên không theo quy luật, chứng tỏ dữ liệu y đã nhận không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời gian.

5. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐẾN NĂNG SUẤT BỐC TÁCH VẬT LIỆU

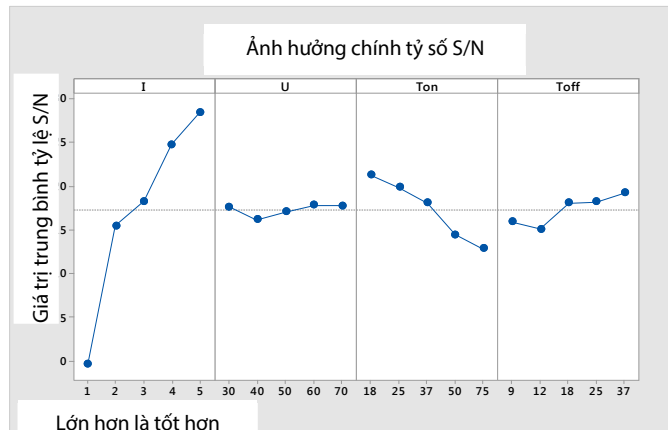
Phân tích ANOVA năng suất bóc tách MRR với độ tin cậy 90% được thể hiện trong bảng 5 và 6. Thông số có giá trị F lớn sẽ có ảnh hưởng mạnh đến kết quả đầu ra. Bảng 5 cho thấy cường độ dòng điện (F = 381,86) ảnh hưởng mạnh nhất đến MRR, sau đó đến thời gian phóng điện T_{on} (F = 38,77), tiếp đến là T_{off} (F = 9,35), ảnh hưởng yếu nhất đến MRR là U (F = 1,52). Bảng 6 có ảnh hưởng của các thông số đến MRR là: I = 67%; T_{on} = 19,5%; T_{off} = 9,5%; U = 4%.

Bảng 5. ANOVA giá trị MRR

Thông số	DF	SS	V	F	P
I (A)	4	2486,75	621,688	381,86	0,000
U (B)	4	9,90	2,475	1,52	0,284
T_{on} (C)	4	252,49	63,123	38,77	0,000
T_{off} (D)	4	60,88	15,221	9,35	0,004
Lỗi	8	13,02	1,628		
Tổng cộng	24	2823,05			

Bảng 6. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến MRR

Mức	I	U	T_{on}	T_{off}
1	-0,4261	17,6519	21,2490	15,8876
2	15,4741	16,1546	19,8555	15,0615
3	18,2942	17,0920	18,0771	18,1039
4	24,7448	17,8448	14,4389	18,2282
5	28,4081	17,7518	12,8746	19,2138
Chênh lệch	28,8342	1,6902	8,3743	4,1523
Xếp hạng ảnh hưởng	1	4	2	3



Hình 6. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến MRR

Ảnh hưởng của các thông số đến MRR được thể hiện hình 6:

- MRR tăng đều khi I tăng từ 1 đến 5A, khi cường độ dòng điện tăng dẫn đến năng lượng xung tăng, phôi bị nóng chảy và bốc hơi tăng. MRR lớn nhất khi I = 5A;

- Thời gian phóng điện tăng từ 18 đến 75 μ s thì MRR giảm đều, vì nếu chu kỳ gia công không thay đổi ($T_{on}/(T_{on} + T_{off})$) thì tổng thời gian phóng điện trong một đơn vị thời

gian không thay đổi, mà T_{on} tăng làm cho khả năng rửa và thoát phoi kém hơn dẫn đến MRR giảm;

- Thời gian ngừng phóng điện tăng từ 9 đến 37 μ s thì MRR cơ bản tăng do khả năng rửa và thoát phoi tăng lên;
- Điện áp khe hở ảnh hưởng ít nhất đến MRR.

6. TỐI ƯU HÓA MRR THEO PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI

Đặc trưng tỷ số S/N của MRR là: "Cao hơn thì tốt hơn", được xác định bởi công thức [3]:

$$(S/N)_{HB} = -10\log(MSD_{HB}) \tag{1}$$

Trong đó: $MSD_{HB} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left(\frac{1}{y_i^2} \right)$

MSD_{HB} : Sai lệch bình phương trung bình;

r: Số lần kiểm tra trong một thí nghiệm (số lần lặp);

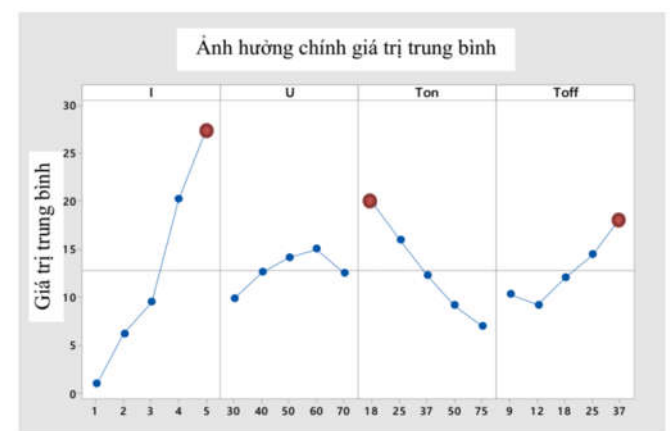
y_i : Các giá trị của thí nghiệm.

Bảng 7. ANOVA trị số tỷ số S/N của MRR

Thông số	DF	SS	V	F	P
I (A)	4	2300,63	575,16	32,13	0,000
U (B)	4	77,13	19,28	1,08	0,428
T_{on} (C)	4	530,98	132,75	7,41	0,008
T_{off} (D)	4	261,09	65,27	3,65	0,050
Lỗi	8	143,22	17,90		
Tổng cộng	24	3313,05			

Bảng 8. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỷ số S/N của MRR

Mức	I	U	T_{on}	T_{off}
1	0,9842	9,8982	19,8228	10,3050
2	6,2230	12,5948	15,9898	9,1932
3	9,5216	14,1654	12,2526	12,0760
4	20,1844	15,0494	9,1792	14,4420
5	27,3600	12,5654	7,0288	18,2570
Chênh lệch	26,3758	5,1512	12,7940	9,0638
Xếp hạng ảnh hưởng	1	4	2	3



Hình 7. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến tỷ số S/N của MRR

Bảng 7 và 8 chỉ ra các kết quả ANOVA trị số S/N của MRR với khoảng tin cậy 90%. So sánh trị số F tính toán của các

thông số với trị số F trong bảng 7 cho thấy: cường độ dòng điện ($F = 32,13$), T_{on} ($F = 7,41$), T_{off} ($F = 3,65$) là những thông số có ảnh hưởng mạnh đến tỷ số S/N của MRR (bảng 8). Thông số còn lại có ảnh hưởng yếu đến tỷ số S/N của MRR (hình 7).

Giá trị tối ưu được ước tính bởi các thông số có ảnh hưởng mạnh và được xác định theo công thức [3]:

$$MRR_{tối\ ưu} = A_5 + C_1 + D_5 - 2T \quad (2)$$

Trong đó:

T: Trị số trung bình của đặc trưng khảo sát (lượng bóc tách vật liệu MRR);

A_5, C_1, D_5 : Trị số trung bình tại các mức A_5, C_1, D_5 ;

A_5 : MRR với cường độ dòng điện 5A, $A_5 = 27,36$ mg/phút (bảng 8);

C_1 : MRR với thời gian phát xung, $C_1 = 19,823$ mg/phút (bảng 8);

D_5 : MRR với thời gian ngừng phát xung, $D_5 = 18,257$ mg/phút (bảng 8).

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{25} MRR_1 + \sum_{i=1}^{25} MRR_2 + \sum_{i=1}^{25} MRR_3}{75} = 12,855 \text{ mg/phút} \quad (3)$$

Thay số: $MRR_{tối\ ưu} = 27,36 + 19,823 + 18,257 - 2.12,855 = 39,73$ mg/phút.

- Thực nghiệm kiểm chứng tiến hành với phôi SKD11 đã nhiệt luyện, với cường độ dòng điện 5A; $T_{on} = 18\mu s$, $T_{off} = 37\mu s$; $U = 60V$. Kết quả $MRR = 37,49$ mg/phút. Vậy trị số sai lệch giữa kết quả tính toán và kết quả thực nghiệm là 5,6%. Chứng tỏ mô hình tính toán hoàn toàn có thể dự đoán được MRR.

7. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, 4 thông số công nghệ xung tia lửa điện thép SKD11, bằng điện cực đồng đã được tối ưu hóa đơn mục tiêu, với chỉ tiêu là năng suất bóc tách vật liệu MRR. Bộ thông số công nghệ tối ưu là $I = 5A$; $T_{on} = 18\mu s$, $T_{off} = 37\mu s$; $U = 60V$. Trị số tối ưu của $MRR = 39,73$ mg/phút. Kết quả trên chứng tỏ phương pháp Taguchi để thiết kế thí nghiệm và tối ưu hóa đơn mục tiêu cũng hữu hiệu trong lĩnh vực EDM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vũ Hoài Ân, 2005. *Gia công tia lửa điện CNC*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Nguyễn Doãn Ý, 2003. *Quy hoạch thực nghiệm*. NXB Khoa học và kỹ thuật.
- [3]. Ranjit Roy, 1990. *A-Primer-on-the-Taguchi-Method*. Library of Congress Catalog Card Number 89-14736 ISBN 0-442-23729-4, Printed in the United States of America.
- [4]. *Minitab18*. Internet: <https://www.minitab.com/en-us/>, 18/7/2017.
- [5]. Elman C. Jameson, 2001. *Electrical Discharge Machining*. International Standard Book Number: 0-87263-521-X. Printed in the United States of America.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Duc, Vu Dinh Toan

Hanoi University Of Industry